

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-134204

(43)Date of publication of application : 20.05.1997

(51)Int.Cl.

G05B 13/02

(21)Application number : 07-293118

(71)Applicant : NOK CORP

(22)Date of filing : 10.11.1995

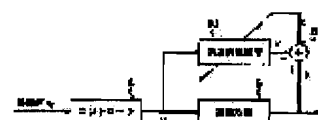
(72)Inventor : KUBOTA YASUHIRO

## (54) ADAPTIVE IDENTIFICATION METHOD AND CONTROL METHOD USING THE METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately turn a controlled system into a model even when the controlled system includes a nonlinear element, etc., by identifying a transmission function after deciding the process parameter of the transmission function so as to minimize the deviation between the manipulated variable and the actual manipulation result.

**SOLUTION:** A controller 4 calculates a controlled variable (u) to manipulate a controlled system 6 according to the target value (yr), and the system 6 operates based on the variable (u). The variable (u) equal to that of the system 6 is given to an adaptive identification device 10, and the device 10 performs the arithmetic processing equivalent to the system 6 and outputs the arithmetic result (y). An adder 8 calculates the deviation (e) between the actual manipulation result (y) of the system 6 and the identification result (y) of the device 10 and adaptively identifies the system 6 so as to minimize the absolute value of the deviation (e). The transmission function of the discrete time display of the system 6 is shown in an expression, where (z), (d), (ai), (n), (bi) and (m) show a time gain element, the dead time, the coefficient of a 1st polynomial, the degree of the 1st polynomial, the coefficient of a 2nd polynomial and the degree of the 2nd polynomial respectively.



$$G(z) = z^{-d} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}} \quad (1)$$

特願 2002-192815 3/3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-134204

(43) 公開日 平成9年(1997)5月20日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 5 B 13/02

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 5 B 13/02

技術表示箇所

D

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平7-293118

(22) 出願日 平成7年(1995)11月10日

(71) 出願人 000004385

エヌオーケー株式会社

東京都港区芝大門1丁目12番15号

(72) 発明者 久保田 靖博

茨城県つくば市和台25番地 エヌオーケー

株式会社内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 隆久

(54) 【発明の名称】 適応的同定方法とそれを用いた制御方法

(57) 【要約】

【課題】 非線形要素および/または時変系要素を含む制御対象を数学モデルに同定出来なかった。

【解決手段】 制御対象6の伝達関数G(z)を下記式に示すむだ時間dを有する2変数多項式として仮想的なモデルとして、適応同定装置10においてこのモデルを用いて目標値y<sub>r</sub>に対するプロセスモデルの結果y'

(k)を演算し、同じ目標値y<sub>r</sub>に対して動作する制御対象6の実際の操作結果y(k)との偏差eを算出して、この偏差が最小になるように、漸近的に、むだ時間d, 2変数の次数n, mを決定し、プロセス変数a, bを決定して、伝達関数を同定する。

【数32】

$$G(z) = z^{-d} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} \quad (32)$$

但し、zは時間遅延算子であり、

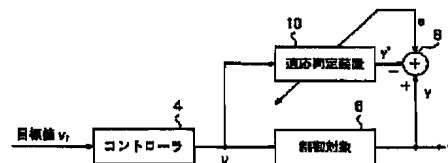
dはむだ時間であり、

a<sub>i</sub>は第i次項の係数であり、

nは第1多項式の次数であり、

b<sub>i</sub>は第i次項の係数であり、

mは第2多項式の次数である。



1

2

【特許請求の範囲】

\* (イ) 前記制御対象の伝達関数を離散系の下記伝達関数

【請求項1】 非線形要素および時変系要素またはいずれか一方を含む制御対象の伝達関数を同定する適応的同定方法であって、

G(z) として仮定的に規定し、  
【数1】

$$G(z) = z^{-d} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}}$$

但し、z は時間進み要素であり、

d はむだ時間であり、

a<sub>i</sub> は第1多項式の係数であり、

n は第1多項式の次数であり、

b<sub>i</sub> は第2多項式の係数であり、

m は第2多項式の次数である。

(ロ) 操作量 u(k) に対する前記制御対象の実際の操作結果 y(k) を下記式で規定し、 ※【数2】

$$y(k) = G(z) u(k) = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}} u(k)$$

$$= -\sum_{i=1}^n a_i y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_i u(k-d-i)$$

但し、k はサンプリング時刻であり、

d はむだ時間であり、

u(k) はサンプリング時刻 k における制御対象への操作量であり、

y(k) はサンプリング時刻 k における制御対象の操作結果である。

(ハ) 前記制御対象を同定するため、操作量 u が印加されたときのプロセスモデルを下記式で規定し、 【数3】

$$y'(k) = -\sum_{i=1}^n a_{ki} \cdot y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_{ki} \cdot u(k-d-i)$$

但し、 $k$  はサンプリング時刻であり、

$u(k)$  はサンプリング時刻  $k$  における制御対象への操作量であり、

$y'(k)$  はサンプリング時刻  $k$  におけるプロセスモデルの結果である。

(ニ) 前記プロセスパラメータ  $a_k$ 、 $b_k$  の初期値  $a_0$ 、 $b_0$  を所定の値に設定し、

(ホ) 前記実際の操作結果  $y(k)$  と、前記プロセスモデルの結果  $y'(k)$  との偏差  $e(k) = y(k) - y'(k)$  を算出し、

(ヘ) 下記式に基づいて、該偏差  $e(k)$  と前回のサンプリング時刻のプロセスパラメータ  $a_{k-1}$ 、 $b_{k-1}$  を用いて次のサンプリング時刻のプロセスパラメータ  $a_{k+1}$ 、 $b_{k+1}$  を更新し、ただし、変数  $\alpha$ 、 $\beta$  をプロセスパラメータ  $a$ 、 $b$  が動的に変化する値になるように設定する。

【数4】

$$a_{k+1} = a_{k-1} + \alpha \cdot e(k) \cdot y'(k)$$

$$b_{k+1} = b_{k-1} + \beta \cdot e(k) \cdot u(k)$$

(ト) あるむだ時間  $d$  におけるプロセス次数  $n$ 、 $m$  を徐々に増加させてそのときの前記偏差  $e(k)$  の総和を最小にするように前記プロセスパラメータの一致度から最適なプロセスパラメータの次数  $n$ 、 $m$  を決定し、

(チ) むだ時間  $d$  を変えて、さらにプロセスパラメータの次数  $n$ 、 $m$  を徐々に増加させてそのときの前記偏差  $e(k)$  の総和を最小にするように前記プロセスパラメータの一致度から最適なむだ時間を決定し、

(リ) 前記得られたプロセスパラメータの次数と、得られた最適なむだ時間についての、前記伝達関数のプロセスパラメータ ( $a_i$ )、( $b_i$ ) を操作量  $u$  と実際の操作結果  $y(k)$  その偏差  $e$  が最小になるように決定し、

(ヌ) 前記決定したむだ時間、前記決定した次数  $n$ 、 $m$  のプロセスパラメータ ( $a_i$ )、( $b_i$ ) を用いて、前記制御対象の伝達関数を同定する適応的同定方法。

【請求項2】前記得られた制御対象の伝達関数の逆関数を、目標値に対して制御対象に対する操作量を算出する制御装置の伝達関数として用いて前記制御対象を制御する適応的同定制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプロセス制御方法に関するものであり、特に、非線形要素および時変系要素のいずれか一方を含んでいて数学的にモデル化が困難な制御対象について適切に同定する方法、および、その結

果に基づいて好適に制御対象を制御する適応的同定制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】制御対象を最適に制御するに際してまず、その制御対象について制御モデルを設計することが行われるが、その設計方法としては種々提案されている。たとえば、特開平5-113803号公報は、最適レギュレータを設計するための装置を開示している。この最適レギュレータ設計装置は、数式モデル入力手段、非干渉化指数計算手段、時間応答指定手段、非干渉化手段および最適ゲイン計算手段を有しており、予め数式(数学)モデルが判っている場合にその最適制御ゲインを決定する装置である。特開平5-113803号公報に開示された最適レギュレータ設計装置は、予め数式(数学)モデルが判っていることを前提としている。しかしながら、現実的には数学モデルを求めるには相当手間がかかり、しかも、正確に数学モデルを求めることはしばしば困難な場合が多い。したがって、特開平5-113803号公報に開示された最適レギュレータ設計装置は数学モデルが正確に判っている制御対象への適用に限られるから、数学モデルが正確には判らない多くの制御対象には適用できない。

【0003】また特開平5-100711号公報は、制御対象を同定する装置を開示している。この制御対象の同定装置は、制御対象とそれを制御するためのコントローラが設けられて負帰還ループを構成している制御システムにおいて、コントローラの出力を遅延する操作量遅延手段と、コントローラの出力と制御対象の結果を用いて無駄時間を測定する無駄時間測定手段と、操作量遅延手段の遅延結果および制御対象の結果を用いて制御対象を同定する同定手段と、同定手段の同定結果と無駄時間測定結果からコントローラのPID制御パラメータを設定するPID制御パラメータ設定部とを有している。特開平5-100711号公報に開示されている制御対象の同定装置においては、無駄時間を測定する手段が必要であり、この無駄時間の正確な測定も容易ではない。しかも制御対象の伝達関数の次数が既知である必要がある。しかしながら多くの場合、制御対象の実体は正確には判らないから伝達関数の次数は必ずしも既知ではないから、制御対象の正確な同定は困難である。その結果、特開平5-100711号公報に開示されている制御対

象の同定装置を用いて制御対象を同定しても制御対象を正確に制御することが困難である。

【0004】以上の問題を解決する方法として、本件出願の発明者は、上述したような数学モデルが得られていない場合でも、制御モデルを同定可能にする方法と装置を提案している（たとえば、特願平7-160279号、「制御モデル設計方法とその装置」を参照されたい）。この制御モデル設計装置は、制御対象のプロセスモデルを同定する同定装置と、同定結果に基づいてコントローラにPID制御パラメータを設定するPID制御パラメータ設定部とを有している。同定装置は数学モデルなしに、制御対象の伝達関数をむだ時間と分母を多項式、分子も多項式とおき、制御対象の入出力としてのこれら操作量と制御対象の出力に一致するような伝達関数のむだ時間、多項式の次数、多項式の係数を決定する。PID制御パラメータ設定部は同定して結果に基づいて、PID制御パラメータを決定し、コントローラに設定する。コントロールはPID制御演算を行って操作量を制御対象に印加する。

【0005】

\*20

$$G(z) = z^{-d} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}}$$

但し、 $z$ は時間進み要素であり、

$d$ はむだ時間であり、

$a_i$ は第1多項式の係数であり、

$n$ は第1多項式の次数であり、

$b_i$ は第2多項式の係数であり、

$m$ は第2多項式の次数である。

(ロ) 操作量  $u(k)$  に対する前記制御対象の実際の操作結果  $y(k)$  を下記式で規定し、

\*【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した特願平7-160279号に示した制御モデル設計方法は、制御対象について線形近似するものであるから、制御対象が非線形要素および時変系要素のいずれか一方（以下、非線形要素および／または時変系要素）を含む場合は正確なモデル化が困難である。

【0006】本発明の目的は、制御対象が非線形要素および／または時変系要素を含む場合であっても制御対象を的確にモデル化できる（同定できる）適応的同定方法を提供することにある。本発明の他の目的は、上記適応的同定方法で得られたモデルを活用して制御対象を適切に制御する適応的同定制御方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、非線形要素および時変系要素またはいずれか一方を含む制御対象の伝達関数を同定する適応的同定方法であって、

(イ) 前記制御対象の伝達関数を離散系の下記伝達関数  $G(z)$  として仮定的に規定し、

【数5】

【数6】

$$\begin{aligned}
 y(k) &= G(z) u(k) = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}} u(k) \\
 &= -\sum_{i=1}^n a_i y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_i u(k-d-i)
 \end{aligned}$$

但し、 $k$ はサンプリング時刻であり、

$d$ はむだ時間であり、

$u(k)$ はサンプリング時刻 $k$ における制御対象への操作量であり、

$y(k)$ はサンプリング時刻 $k$ における制御対象の操作結果である。

(ハ) 前記制御対象を同定するため、操作量 $u$ が印加されたときのプロセスモデルを下記式で規定し、

$$y'(k) = -\sum_{i=1}^n a_{ki} \cdot y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_{ki} \cdot u(k-d-i)$$

但し、 $k$ はサンプリング時刻であり、

$u(k)$ はサンプリング時刻 $k$ における制御対象への操作量であり、

$y'(k)$ はサンプリング時刻 $k$ におけるプロセスモデルの結果である。

(ニ) 前記プロセスパラメータ $a_k, b_k$ の初期値 $a_0, b_0$ を所定の値に設定し、(ホ) 前記実際の操作結果 $y(k)$ と、前記プロセスモデルの結果 $y'(k)$ との偏差 $e(k) = y(k) - y'(k)$ を算出し、(ヘ) 下記式に基づいて、該偏差 $e(k)$ と前回のサンプリング時刻のプロセスパラメータ $a_{k-1}, b_{k-1}$ を用いて次のサンプリング時刻のプロセスパラメータ $a_{k+1}, b_{k+1}$ を更新し、ただし、変数 $\alpha, \beta$ をプロセスパラメータ $a, b$ が動的に変化する値になるように設定する。

【数8】

$$a_{k+1} = a_{k-1} + \alpha \cdot e(k) \cdot y'(k)$$

$$b_{k+1} = b_{k-1} + \beta \cdot e(k) \cdot u(k)$$

(ト) あるむだ時間 $d$ におけるプロセス次数 $n, m$ を徐々に増加させてそのときの前記偏差 $e(k)$ の総和を最小にするように前記プロセスパラメータの一致度から最適なプロセスパラメータの次数 $n, m$ を決定し、(チ) むだ時間 $d$ を変えて、さらにプロセスパラメータの次数 $n, m$ を徐々に増加させてそのときの前記偏差 $e(k)$

の総和を最小にするように前記プロセスパラメータの一致度から最適なむだ時間を決定し、(リ) 前記得られたプロセスパラメータの次数と、得られた最適なむだ時間についての、前記伝達関数のプロセスパラメータ $(a_i), (b_i)$ を操作量 $u$ と実際の操作結果 $y(k)$ その偏差 $e$ が最小になるように決定し、(ヌ) 前記決定したむだ時間、前記決定した次数 $n, m$ のプロセスパラメータ $(a_i), (b_i)$ を用いて、前記制御対象の伝達関数を同定する適応的同定方法が提供される。【0008】また本発明によれば、前記得られた制御対象の伝達関数の逆関数を、目標値に対して制御対象に対する操作量を算出する制御装置の伝達関数として用いて前記制御対象を制御する、適応的同定制御方法が提供される。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明の適応同定方法とその装置、並びに、適応同定方法によって得られた結果を用いて制御対象を適切に制御する適応同定制御方法とその装置の実施例について述べる。本発明においては、図1に示した同定制御系において、適応同定装置10においてオフライン的に制御対象6の伝達関数を同定し、その結

果を用いて、図2に示す制御系で制御対象6を実際に制御する。

【0010】図1に示した同定制御系は、コントローラ4、非線形要素および時変系要素またはいずれか一方（非線形要素および／または時変系要素）を含む制御対象6、適応同定装置10、加算器8を有している。コントローラ4は与えられた目標値 $y_r$ について後述する所定の制御アルゴリズムに従って、その目標値 $y_r$ に応じて制御対象6を操作させる操作量 $u$ を算出する。制御対象6はコントローラ4からの操作量 $u$ に基づいて動作す\*10

$$e = y - y'$$

【0012】適応同定装置10はこの偏差 $e$ の絶対値が最小になるように、制御対象6を適応的に同定する。適応同定装置10にはプロセスモデルの初期値が保持されており、操作量 $u$ に対するプロセスモデルの結果 $y'$ （ $k$ ）を算出する。この適応同定装置10の詳細動作については後述する。

【0013】コントローラ4、加算器8、適応同定装置10を実現する手段としては、（1）コンピュータを用いて一体的に実現する方法、（2）コントローラ4、加算器8、適応同定装置10をそれぞれ個別のマイクロコンピュータで実現する方法、（3）コントローラ4をハードウェア回路で実現し、加算器8もハードウェア回路で実現し、適応同定装置10をコンピュータを用いて実現する方法など、種々の方法をとることができる。以下の記述においては、コントローラ4、加算器8および適\*

\*る。この制御対象6の操作結果 $y$ を実際の操作結果 $y$ と呼ぶ。適応同定装置10にはコントローラ4から制御対象6と同じ操作量 $u$ が与えられ、詳細について後述する制御対象6と同等の演算処理をしてその演算結果 $y'$ を出力する。この演算結果 $y'$ をプロセスモデルの結果 $y'$ と呼ぶ。加算器8は制御対象6の実際の操作結果 $y$ と適応同定装置10の同定結果（プロセスモデルの結果） $y'$ との偏差 $e$ を、下記式に従って計算する。

【0011】

【数9】

... (1)

※応同定装置10を1つのコンピュータを用いて一体的に実現する場合について例示する。

【0014】図2に示した制御系は、図1に示した適応同定装置10によって同定された結果を用いて適応制御装置12によって制御対象6が閉ループ制御される構成を示している。図3に適応制御装置12の構成を示す。適応制御装置12は、目標値 $y_r$ が印加される制御量設定手段12a、適応同定手段12b、加算器12cから構成されている。図2および図3に示した適応制御装置12の詳細については後述する。

【0015】適応同定装置10における適応同定の詳細デジタル制御を想定して、制御対象6の離散時間表示の一般的な伝達関数 $G(z)$ を下記式に示す。

【0016】

【数10】

$$G(z) = z^{-d} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}} \dots (2)$$

但し、 $z$ は時間進み要素であり、

$d$ はむだ時間であり、

$a_1$ は第1多項式の係数であり、

$n$ は第1多項式の次数であり、

$b_1$ は第2多項式の係数であり、

$m$ は第2多項式の次数である。

【0017】デジタルサンプリング制御を行うとして、あるサンプリング時刻 $k$ における、コントローラ4の操作量 $u(k)$ と制御対象6の実際の操作結果 $y$

( $k$ )との関係は下記式で表される。

【0018】

【数11】

$$y(k) = G(z) u(k) = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}} u(k)$$

$$= -\sum_{i=1}^n a_i \cdot y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_i \cdot u(k-d-i)$$

... (3)

【0019】式3より制御対象6の数学モデルをプロセスモデルとして、適応同定装置10に保持する。図4はこの種の一般的なプロセスモデルを示す図である。適応同定装置10において、図4に示した一般的なプロセスモデルにおけるむだ時間d、プロセス次数n、m、プロセスパラメータ $a_i$ 、 $b_i$ を適応的に同定する。以下、その詳細を述べる。無駄時間d、プロセス次数n、mに\*

おけるプロセスパラメータ $a_i$ 、 $b_i$ についての任意のサンプリング時刻kの値を、 $a_k$ 、 $b_k$  ( $k=k1, k2, \dots, km$ )とすると、制御対象6の実際の出力 $y(k)$ と適応同定装置10によるプロセスモデルの結果 $y'(k)$ との関係は下記式で定義される。

【0020】

【数12】

$$y'(k) = -\sum_{i=1}^n a_{ki} \cdot y(k-i) + \sum_{i=0}^m b_{ki} \cdot u(k-d-i)$$

... (4)

但し、kはサンプリング時刻であり、

$u(k)$ はサンプリング時刻kにおける制御対象への操作量であり、

$y'(k)$ はサンプリング時刻kにおけるプロセスモデルの結果である。

【0021】このとき、制御対象6の実際の操作結果 $y$  ※【0022】

(k)と適応同定装置10のプロセスモデルの結果 $y'$  【数13】

(k)との偏差 $e(k)$ は下記式で表される。 ※

$$e(k) = y(k) - y'(k)$$

... (5)

【0023】適応同定装置10は、この偏差 $e(k)$ を ★【0024】

用いてプロセスパラメータ( $a_{k+1}$ )および( $b_{k+1}$ ) 【数14】

を下記式に従って更新する。 ★

$$a_{k+1,i} = a_{k,i} + \alpha \cdot e(k) \cdot y'(k)$$

... (6)

【0025】 ☆ ☆【数15】

$$b_{k+1,i} = b_{k,i} + \beta \cdot e(k) \cdot u(k)$$

... (7)

【0026】上記式における $\alpha$ および $\beta$ は任意の実数である。 $\alpha$ および $\beta$ を非常に小さな値に設定しておくと、式6および式7により、プロセスパラメータ( $a_i$ )および( $b_i$ )はある値に収束する。しかしながら、 $\alpha$ および $\beta$ をある適切な値に設定すると、プロセスパラメー

タ( $a_i$ )および( $b_i$ )はある値に収束するのではなく動的に変化する値となる。本発明においては、プロセスパラメータ( $a_i$ )および( $b_i$ )がある値に収束しないようにして、偏差の総和 $e_{ALL}$ が小さくなるように、 $\alpha$ および $\beta$ をある適切な値に設定する。

【0027】

\* \* 【数16】

$$e_{ALL} = \sum_{k=0}^{end} e(k)$$

... (8)

【0028】サンプリング時刻  $k=0$  から制御終了までの偏差  $e(k)$  の総和  $e_{ALL}$  を計算する。このように、プロセスパラメータ ( $a_i$ ) および ( $b_i$ ) をある値に収束させるのではなく動的に変化させることにより、偏差の総和  $e_{ALL}$  を最小にすることが可能になる。ある無駄時間  $d$  およびプロセス次数  $n$ ,  $m$  の組合せで得られるプロセスモデルの評価関数は式8で得られる制御中の誤差の偏差 (誤差)  $e(k)$  の総和  $e_{ALL}$  と、プロセスパラメータの数との関数になっている。無駄時間  $d$  とプロセス次数  $n$ ,  $m$  の決定方法の例を、図5に示したグラフを参照して述べる。

※同定方法を示すグラフである。図5において、 $D$  は実際のむだ時間  $d$  に相当する計算で求めるむだ時間を示し、 $N$  および  $M$  は実際の次数  $N$ ,  $m$  に相当する計算で求める次数を示し、 $AIC$  (An Information Criterion) は同定したパラメータの一致度を表す情報量規準を示す。すなわち、 $AIC$  は情報量基準の意味で、統計的モデルの適切さの基準として真の分布との間の情報量を取り、その推定値として導入されたもので下記式で定義される。

【0030】

【数17】

【0029】図5は適応同定装置10における適応的な※

$$AIC = -2 \log_e(\text{最大尤度}) + 2(\text{パラメータ数}) \dots (9)$$

【0031】次数  $m$ ,  $n$  およびパラメータの推定を行った際の残差の分散の不偏推定値を  $\sigma^2$  (ハット  $\sigma^2$ ) とすると、下記式で表される。

★【0032】

【数18】

★

$$AIC = N \log_e \hat{\sigma}_e^2 + 4(m+n) \dots (10)$$

【0033】なお、初期条件として、 $AIC_0 \sim AIC_3$  を0に初期化しておく。

ステップ1~4

まず、 $D=0$ ,  $N=0$ ,  $M=0$  について、適応同定装置10において、パラメータ  $A_i$ ,  $B_i$  を算出する。パラメータ  $A_i$ ,  $B_i$  はプロセスモデルのパラメータ  $a_i$ ,  $b_i$  に相当するパラメータである。このパラメータの算☆30

☆出方法としては、たとえば、最小2乗法などによる。プロセスモデルをサンプリング時刻  $k$  を用いて表し、 $D=0$ ,  $N=0$ ,  $M=0$  の場合、式3を用いて適応同定装置10におけるプロセスモデルの結果  $y'(k)$  を式3と同様に、下記式で表す。

【0034】

【数19】

$$y'(k) = -a_{k,0} \cdot y(k) + b_{k,0} \cdot u(k)$$

... (11)

【0035】初期状態、つまり、 $k=0$  のとき、制御対象8の実際の操作結果  $y(0)$  と適応同定装置10のプロセスモデルの結果  $y'(0)$  との偏差  $e(0)$  を用いて、プロセスパラメータ  $a_0$ ,  $b_0$  を下記の式で更新す◆

◆る。

【0036】

【数20】

$$\begin{aligned} a_{k-1,0} &= a_{k=0,0} + \alpha \frac{\partial}{\partial a_0} \{e(0)\}^2 \\ &= a_{k=0,0} + \alpha u(0) e(0) \dots (12) \end{aligned}$$

【0037】

\* \* 【数21】

$$\begin{aligned} b_{k-1,0} &= b_{k=0,0} + \beta \frac{\partial}{\partial b_0} \{e(0)\}^2 \\ &= b_{k=0,0} + \beta u(0) e(0) \dots (13) \end{aligned}$$

【0038】上記式において、プロセスパラメータ  $a_0$ ,  $b_0$  について、更新後のプロセスパラメータを  $a_{0,k-1}$ ,  $b_{0,k-1}$  で表し、更新前のプロセスパラメータ

$a_{0,k-0}$ ,  $b_{0,k-0}$  として表している。更新前のプロセスパラメータ  $a_{0,k-0}$ ,  $b_{0,k-0}$  はそれぞれ任意の初期値である。 $\alpha$  はプロセスパラメータ  $a_0$  の値を繰り返す

15

学習によって収束させるための学習定数であり、 $\alpha > 0$ である。同様に、 $\beta$ はプロセスパラメータ $b_i$ の値を繰り返し学習によって収束させるための学習定数であり、 $\beta > 0$ である。ここで、学習の終了条件としてしきい値 $\delta a$ 、 $\delta b$ を設定しておき、下記の条件が満足されるま

$$|a_{k=0} - a_{k=k-1,0}| < \delta a \quad (14)$$

【0040】

※ ※【数23】

$$|b_{k=0} - b_{k=k-1,0}| < \delta b \quad (15)$$

【0041】このようにして、決定されたプロセスパラメータ $a_i$ 、 $b_i$ について、AIC0を算出する。

【0042】ステップ5～6

ステップ5においてAIC0とAIC1とを比較する。AIC0は負であるから、ステップ6のAIC1=AIC0の置き換え処理、および、次数Mの更新を行い、ステップ4の処理に戻る。

【0043】ステップ4～6

AIC0>AIC0になるまで、上記処理を反復する。これにより、暫定的な次数Mが決定される。

【0044】ステップ3、7、8

AIC0>AIC0になったら、ステップ7の処理に移行する。ステップ7において、AIC1>AIC2の判定を行う。このときは、AIC1>AIC2ではないから、ステップ8に移行して、AIC2=AIC1の置き換え処理を行い、次数Nの更新を行い、ステップ3において、再び、M=0として、ステップ4の処理に移行する。

【0045】ステップ4～6

この場合は、D=0、N=1、M=0について、適応同定装置10において、パラメータ $A_i$ 、 $B_i$ を算出する。つまり、次数N=1に更新された状態のAIC0を算出し、AIC0>AIC0になるまで、ステップ4～6の処理を繰り返す。

【0046】ステップ3、7、8

D=0、N=1、M=0において、AIC0>AIC0になったら、ステップ7の処理に移行する。このときも、AIC1>AIC2ではないから、ステップ8に移行して、AIC2=AIC1の置き換え処理を行い、次★

$$\begin{aligned} a_{k=k,i} &= a_{k=k-1,i} + \alpha \frac{\partial}{\partial a_i} \{e(k)\}^2 \\ &= a_{k=k-1,i} - \alpha y(k-1) e(k) \quad (16) \end{aligned}$$

【0052】

☆ ☆【数25】

$$\begin{aligned} b_{k=k,i} &= b_{k=k-1,i} + \beta \frac{\partial}{\partial b_i} \{e(k)\}^2 \\ &= b_{k=k-1,i} + \beta u(k-1) e(k) \quad (17) \end{aligned}$$

【0053】適応同定装置10における上述した処理により、制御対象6の伝達関数 $G(z)$ が判ると、コントローラ4の制御パラメータを伝達関数の逆関数 $G^{-1}(z)$ として設定する。コントローラ4に制御パラメ

16

＊でサンプリング時刻 $k$ の値を順次増加させていき、プロセスパラメータ $a_i$ 、 $b_i$ を決定する。

【0039】

【数22】

★数Nの更新、N=2を行い、ステップ3において、再び、M=0として、ステップ4の処理に移行する。以上の処理を行うことにより、次数N、Mが暫定的に決定される。

【0047】ステップ2、9、10

ステップ7においてAIC1>AIC2になったら、ステップ9に移行し、AIC1>AIC2の判定が行われ、ステップ10において、むだ時間Dの更新が行われる。

【0048】ステップ2、3、4

更新したむだ時間D、次数N=0、M=0について、上記同様の処理が行われる。つまり、あるむだ時間におけるプロセス次数を徐々に増加させ、そのむだ時間における次数とプロセスパラメータとの一致度から、最適な次数N、Mを決定する。さらに、むだ時間を徐々に増加させながら、一致度を比較して、最適なむだ時間を算出する。

【0049】適応同定装置10は、式2で表した伝達関数において、それぞれ各ループにおいて、仮に設定された、むだ時間D、次数M、Nについて、分子の多項式の係数 $B_i$ 、分母の多項式の係数 $A_i$ を、制御対象6に印加された操作量 $u$ と制御対象6の出力 $y$ との差が最小になるように、たとえば、最小2乗法で求めていく。

【0050】例えば、以下の式で、それぞれのパラメータ $a_k$ 、 $b_k$ を更新して、すべてのパラメータ $a_k$ 、 $b_k$ が収束するまで、学習を繰り返し、パラメータ $a_k$ 、 $b_k$ を決定する。

【0051】

【数24】

ータが設定されたら、制御対象6のオンライン制御のために、図1に示した加算器8および適応同定装置10は不要となる。しかしながら、オンライン制御中も、加算器8および適応同定装置10を動作させて、適応的に同

定した制御対象6の伝達関数の正当さ、コントローラ4の制御パラメータの妥当性を監視し、同定したモデルと異なる場合は、再度モデルの同定をやり直すことができる。そして、修正したモデルについてプロセスパラメータを算出しなおし、コントローラ4に設定しなおすこともできる。

#### 【0054】適応的同定制御方法

次に図2および図3に示した適応制御装置12について述べる。適応制御装置12は上述した図1に示した適応同定装置10で同定した結果を用いて実際に制御対象6 10を制御する。適応制御装置12は制御量設定手段12a、適応同定手段12b、加算器12cから構成されている。適応同定手段12bは図1に示した適応同定装置10のプロセスパラメータを同定する部分と同等の機能を有する。したがって、適応同定装置10のプロセスパラメータを同定する部分を用いて適応同定手段12bを\*

$$G_m(z) = z^{-d} \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i z^{-i}}$$

\*実現することもできる。つまり、無駄時間、プロセス次数n、mを上述したように、オフライン的に決定しておき、あるいは、上述したように、間欠的にオンラインで動作させて同定結果を更新し、このように適応同定装置10で得られたサンプリング時刻k=0におけるプロセスパラメータa<sub>0</sub>、b<sub>0</sub>を適応制御装置12内の適応同定手段12bのプロセスパラメータの初期値として適応同定手段12b内のプロセスモデルの結果y'(k)と制御対象6の実際の操作結果y(k)との偏差e(k) = y(k) - y'(k)が小さくなるようにプロセスパラメータを変化させて制御対象6の同定を適応的に行う。上記偏差e(k)は加算器12cにおいて計算される。適応同定手段12bにおけるプロセスモデルの伝達関数を下記式で表すと、

【0055】

【数26】

... (18)

【0056】制御量設定手段12aの伝達関数はプロセスモデルの伝達関数の逆関数として下記式で示される。\*

※【0057】

【数27】

$$G_c(z) = G_m^{-1}(z) = z^d \frac{1 + \sum_{i=0}^n a_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}$$

... (19)

【0058】制御量設定手段12aには目標値y<sub>r</sub>が印加されて上記伝達関数に従って操作量uを制御対象6に出力する。制御対象6は操作量uに従って制御動作を行う。その結果が実際の操作結果y(k)となる。操作量★

★uと実際の操作結果y(k)との関係は下記式で示される。

【0059】

【数28】

$$u(k) = G_c(z) \cdot y_r(k) = G_m^{-1}(z) \cdot y_r(k)$$

... (20)

【0060】

☆ ☆【数29】

$$y(k) = G(z) \cdot u(k) = G(z) G_m^{-1}(z) \cdot y_r(k)$$

... (21)

【0061】適応同定手段12bにおいて制御対象6を正確に同定できた場合、すなわち、下記式が成立する場合、

◆【0062】

【数30】

$$G(z) = G_m(z)$$

... (22)

【0063】下記式が成立し、適応制御装置12によって期待する制御が行われる。

\*【0064】

【数31】

$$y(k) = y_r(k)$$

... (23)

【0065】以上の例示においては、むだ時間が存在する場合を例示したが、むだ時間を殆ど考慮する必要がない場合についても本発明を適用できる。むしろ、むだ時間を含まない制御対象6の制御は容易になる。

【0066】

【発明の効果】以上述べたように、本発明は、数学モデルを使用せず、換言すれば、数学モデルを必要とせず、単に制御対象への入出力の関係のみから、つまり、操作量と実際の操作結果のみから、制御対象のむだ時間、プロセス次数、パラメータをオフラインで同定することができるから、制御系の設計を簡便に行うことができる。換言すれば、本発明によれば、制御対象の数学モデルを求めるために、動特性解析などの種々の複雑で時間のかかる作業を行う必要がない。

【0067】また、本発明は数学モデルを作成することが困難な制御対象について、適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の適応同定を行う同定制御系を示す図である。

【図2】図1に示したせ適応同定制御系によって得られたプロセスパラメータを用いて実際に制御を行う適応同定制御系の構成図である。

\*【図3】図2に示した適応制御装置の構成を示す図である。

【図4】図1に示した制御対象のプロセスモデルを示す図である。

【図5】図1に示した適応同定装置における適応的な同定処理を示すフローチャートである。

【符号の説明】

4・・・コントローラ

6・・・制御対象

8・・・加算器

10・・・適応同定装置

12・・・適応制御装置

12a・・・制御量設定手段

12b・・・適応同定手段

12c・・・加算器

$y(k)$ ・・・制御対象の実際の操作結果

$y'(k)$ ・・・適応同定装置のプロセスモデルの結果

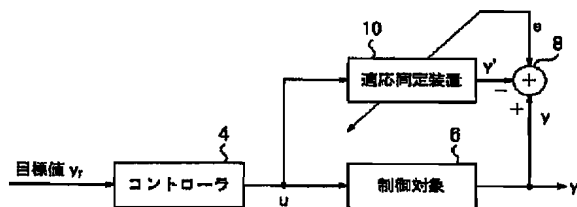
$y_r$ ・・・目標値  $y_r$

$u$ ・・・操作量

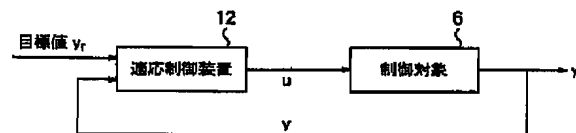
$e$ ・・・偏差

$e_{ALL}$ ・・・偏差の総和

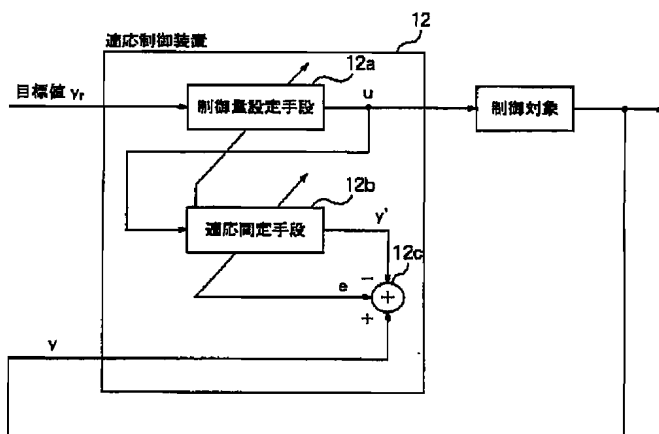
【図1】



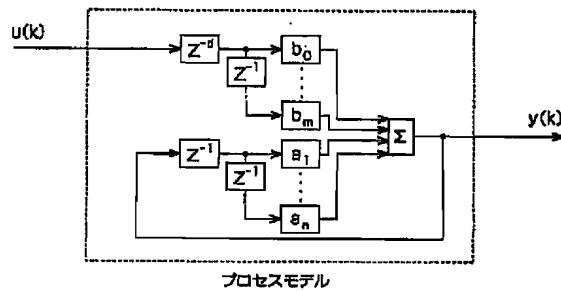
【図2】



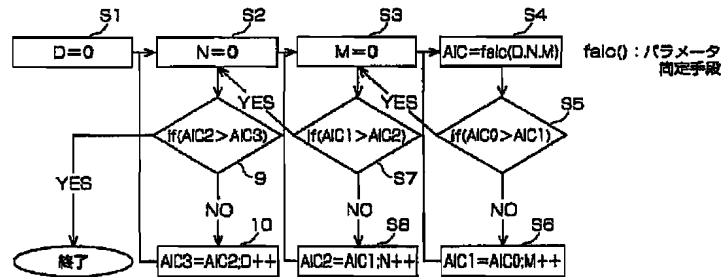
【図3】



【図 4】



【図 5】



## 【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 1 月 26 日

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【0043】ステップ 4～6

$AIC0 > AIC1$  になるまで、上記処理を反復する。  
これにより、暫定的な次数  $M$  が決定される。

## 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【0044】ステップ 3, 7, 8

$AIC0 > AIC1$  になったら、ステップ 7 の処理に移行する。ステップ 7 において、 $AIC1 > AIC2$  の判定を行う。このときは、 $AIC1 > AIC2$  ではないから、ステップ 8 に移行して、 $AIC2 = AIC1$  の置き換え処理を行い、次数  $N$  の更新を行い、ステップ 3 において、再び、 $M = 0$  として、ステップ 4 の処理に移行する。

## 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【0045】ステップ 4～6

この場合は、 $D = 0$ 、 $N = 1$ 、 $M = 0$  について、適応同定装置 10 において、パラメータ  $A_i$ 、 $B_i$  を算出する。つまり、次数  $N = 1$  に更新された状態の  $AIC0$  を算出し、 $AIC0 > AIC1$  になるまで、ステップ 4～6 の処理を繰り返す。

## 【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【0046】ステップ 3, 7, 8

$D = 0$ 、 $N = 1$ 、 $M = 0$  において、 $AIC0 > AIC1$  になったら、ステップ 7 の処理に移行する。このときも、 $AIC1 > AIC2$  ではないから、ステップ 8 に移行して、 $AIC2 = AIC1$  の置き換え処理を行い、次数  $N$  の更新、 $N = 2$  を行い、ステップ 3 において、再び、 $M = 0$  として、ステップ 4 の処理に移行する。以上の処理を行うことにより、次数  $N$ 、 $M$  が暫定的に決定さ

れる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0047

【補正方法】変更

【補正内容】

【0047】ステップ2, 9, 10

ステップ7において $AIC1 > AIC2$ になったら、ステップ9に移行し、 $AIC2 > AIC3$ の判定が行われ、ステップ10において、むだ時間Dの更新が行われる。